



VEDENALAINEN TUKIMUURI

Halkoniemen satama

Matti Karimäki

Opinnäytetyö
Marraskuu 2017
Rakennusalan työnjohdon koulutus



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennusalan työnjohdon koulutus

KARIMÄKI, MATTI:
Vedenalainen tukimuuri
Halkoniemen satama

Opinnäytetyö 27 sivua.
Marraskuu 2017

Tampereen Infran rakentamispalvelut rakensi Halkoniemen sataman rakennusurakassa uuden veneiden talvisäilytysalueen, joka rajattiin satama-altaasta osittain vedenalaisella tukimuurilla. Opinnäytetyön tavoitteena oli dokumentoida talvisäilytysalueen massanvaihdon ja tukimuurin rakentamisen työvaiheet, sekä kertoa vedenalaisen rakentamisen erityispiirteistä.

Opinnäytetyössä esiteltiin hankkeen lähtötiedot, sekä massanvaihdon ja tukimuurin asennamisen suunnitelmat ja työselostukset, sekä edellä mainittujen työvaiheiden käytännön toteutuksesta työmaalla. Massanvaihto tehtiin vaiheittain rannasta järvelle edeten, jossa pitkäpuomisella kaivinkoneella kaivettiin pehmeä maa-aines pois, ja tilalle pengerrettiin sekarakeista louhetta. Rakenne tiivistettiin esikuormituspenkereellä, joka poistettiin kaivamalla kuukauden painumisen jälkeen. Kaivettuun uraan tehtiin elementeille pohjat, johon asennettiin tukimuurielementit yksi kerrallaan, ja lopuksi tehtiin taustatäytöt. Työssä esitettiin myös sopivat työryhmät eri työvaiheisiin, työvaiheiden paikalleen mittaus, sekä tekemisen turvallisuusvaatimukset.

Opinnäytetyössä pohdittiin veden alaisten ja veden äärellä tehtävien töiden erityispiirteitä, vastaavanlaisen tukimuurin rakentamista kuivana, ja rakentamista matalammista elementeistä, joiden päälle valettaisiin reunapalkki. Työssä pohdittiin myös onnistumisen kannalta kriittisimpiä työvaiheita, eli oikeanlaisen louheen saatavuutta massanvaihdon alkaessa, sekä tukimuurin kohdalle tulevan louhetäytön tekemistä oikeaan korkeusasemaan.

Asiasanat: tukimuuri, vedenalainen rakentaminen, massan vaihto.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Site Management

MATTI KARIMÄKI:
Underwater retaining wall
Port of Halkoniemi

Bachelor's thesis 27 pages
November 2017

Tampereen Infra rakentamispalvelut built in case port of Halkoniemi a new area for boat's winter storing where they used underwater retaining wall. The target of thesis was to document different operations during the work and tell the special features considering underwater construction.

In the thesis was presented to output data of project, the planning of mass replacement and installation plan of retaining wall. The thesis deal also how to execute these operations at site. There was also an overview what kind of personnel is needed to carry out this kind of work safely.

In the thesis was discussing special features considering about underwater construction and other workduties next to water. There was discussing what are the most critical work operations to success in project.

Key words: retaining wall, underwater construction, replacement of mass

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	TUKIMUURIN RAKENNUSSUUNNITELMAT	6
2.1	Lähtötiedot ja vesistön suojaus	6
2.2	Massan vaihto	7
2.3	Läjitysalue ja esikuormituspengeri	9
2.4	Elementti ja sen asentaminen.....	9
2.5	Taustatäytöt ja päällyste.....	10
3	TUKIMUURIN RAKENTAMINEN	11
3.1	Massan vaihto	11
3.1.1	Kalusto ja työryhmä	12
3.1.2	Louheen käyttö rakentamisessa.....	12
3.1.3	Massanvaihdon tekeminen	13
3.2	Esikuormituspenkereen poisto	13
3.3	Elementtipohjien teko	14
3.3.1	Veden pinnan korkeuden seuranta	15
3.3.2	Sepelin lanaus veden alla	16
3.4	Elementtien asentaminen	17
3.4.1	Elementtirakentamisen työturvallisuus	17
3.4.2	Sukellustyön työturvallisuus	18
3.4.3	Elementin paikalleen mittaus	18
3.4.4	Yksittäisen elementin asennuksen työvaiheet.....	19
3.5	Teräslevyn asennus saumaan	22
3.6	Tausta- ja etutäytöt.....	22
4	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	23
4.1	Vedenalainen rakentaminen.....	24
4.2	Vaihtoehtoiset tavat rakentaa osittain vedenalainen tukimuuri	25
4.3	Kriittiset työvaiheet, jotka voivat johtaa ongelmiin.....	26
	LÄHTEET.....	27

1 JOHDANTO

Halkoniemen satama on Tampereen Lentävssäniemessä olevan Tampereen Veneilijät ry:n kotisatama, josta Lentävänniemen kaava-alueen laajennuttua jouduttiin purkamaan veneiden talvisäilytysalueet. Halkoniemen sataman urakassa rakennettiin satama-alueelle uudet parkkipaikat, talvisäilytysalue, matonpesupaikka, jätekatos ja lämmitettävä veneidenlaskuluiska. Tässä opinnäytetyössä käsitellään talvisäilytysalueen massanvaihtoa ja osittain veden alle rakennettua rantatukimuuria. Rakennushanke aloitettiin massanvaihdolla tammikuussa 2017, tukimuuri asennettiin kesäkuun lopulla, ja hanke valmistui syksyllä 2017.

Satama hankkeen päätoteuttajana oli Tampereen Infra, joka on myös tilannut tämän opinnäytetyön. Opinnäytetyön tavoitteena on dokumentoida Halkoniemen sataman talvisäilytysalueen rakentaminen, jotta vastaavissa hankkeissa voidaan noudattaa tästä hankkeesta opittuja asioita, sekä pohtia mahdollisia vedenalaisen tukimuurin rakentamiseen liittyviä riskejä, ja vaihtoehtoisia tapoja rakentaa osittain vedenalainen tukimuuri.

Työskentelin kesällä hankkeessa työnjohtoharjoittelijana, joten minulla on omakohtaista kokemusta tukimuurilinjan pohjien tekemisestä, elementtien asentamisesta ja taustatäytöistä. Massanvaihdon toteutusta en päässyt itse näkemään, joten olen haastatellut maanrakennusalan yrittäjää massanvaihdon toteuttamisesta.

Opinnäytetyön aiheeksi on rajattu talvisäilytysalueen massanvaihdon, elementtien asennuksen ja taustatäytöjen toteutuksen dokumentointi. Luvussa kaksi on esitetty suunnitelma piirustuksissa ja työselostuksessa kerrotut lähtötiedot ja pohjaolosuhteet, sekä ohjeet toteuttaa edellä mainitut työvaiheet. Kolmannessa luvussa kerrotaan työvaiheiden käytännön toteutuksesta, ja viimeisessä luvussa on pohdinnat.

2 TUKIMUURIN RAKENNUSSUUNNITELMAT

2.1 Lähtötiedot ja vesistön suojaus

Lähtötilanteessa satama-alue oli epäsiisti ryteikkö, jossa oli kahdella aidatulla alueella paljon huonokuntoisia veneitä, autoja ja roskia (kuva 1). Sataman rakennusurakassa vain aallonmurtaja ja venelaiturit pysyivät ennallaan ja kaikki muu rakennettiin uudelleen.



KUVA 1. Ilmakuva ennen rakennustöiden aloittamista. (Bing.com ND)

Tampereen kaupunki on tehnyt painokairauksia satama-altaassa ja sen rannoilla vuosina 1984 ja 2014. Lisäksi Ramboll Finland Oy on tehnyt kuusi kappaletta heijarikairauksia tulevan tukimuurilinja kohdalla keväällä 2016. Näsijärven pinta on keskimäärin korkeudella +95,56, mutta vaihtelee välillä +95,93 - +94,75 (Ahomies 2016b). Tukimuurilinjalla järven pohja syvimmillään on korkeudella +94,00. Päällimmäisenä maakerroksena järven pohjassa on liejukerros, jota enimmillään on 2,5 metriä, ja se pienenee rantoja lähestyttäessä. Liejukerroksen alla on silttiä 2 - 4 metrin kerros, jonka alla on kova moreenikerros. (Ramboll 2016, 6.)

Ennen kaivutöiden aloittamista tulee ympäröivä vesistö suojata suojaverholla samentumisen estämiseksi. Suojaverhon alareuna painotetaan alapäästä järven pohjaan, ja yläpäästä kiinnitetään kelluvaan puomiin. (Ramboll 2016, 6.)

2.2 Massan vaihto

Satama-altaan massanvaihdot toteutetaan pitkäpuomisella kaivinkoneella (kuva 2) niin, että työ etenee kuivalta maalta vesistöä kohti. Veneiden talvisäilytyspaikan alta poistetaan pehmeä liejukerros siltti-/ savikerrokseen saakka. Tukimuurilinjan alta poistetaan liejukerroksen lisäksi myös savikerros kovaan moreeniin saakka. Arvioidut kaivu syvyydet ovat esitetty leikkauspiirustuksissa 16915/9A ... D. (Ramboll 2016, 11.)

Massanvaihdon täyttö tehdään louheella (0/600) rannalta vesistöä kohti edeten (Ramboll 2016, 13). Louheen yläpinta täytetään tasoon +96,40 (Ahomies 2016b). Louhepenkereen yläpintaan tehdään 200 mm paksu kiilauskerros murskeesta KaM 0/90 (Ramboll 2016, 13).

Tukimuurilinjan alla massanvaihdon täyttö tehdään leikkauspiirustusten (kuva 3) mukaisesti louheella (0/600) 300 mm alle tulevan tukimuurielementin pohjan tason, jonka päälle tehdään esikuormituspengeri murskeesta KaM 0/90. (Ahomies 2016b.) Tukimuurinja ulottuu noin yhden elementin verran kuivalle maalle, johon täyttö tehdään murskeesta KaM 0/90 (Ramboll 2016, 13).

The diagram is a geological cross-section showing the following elements:

- Top Layer:** Louhekerros (Limestone layer) with a thickness of 300mm. It is labeled "Louhekerroksen yläpinnan kiilaus KaM 0/00 h=300mm".
- Construction Phases:**
 - Vaihe 1:** Liejukerroksen louhemasenvaihto (Limestone layer replacement) with a thickness of 0/600 and a slope of 1/90. It is labeled "Vaihe 1, Liejukerroksen louhemasenvaihto (louhe 0/600 + yläpinnan kiilaus KaM 0/90)".
 - Vaihe 2:** Massanvaihto (Mass replacement) with a thickness of 0/600. It is labeled "Vaihe 2, Massanvaihto Täyttö louheella 0/600".
 - Vaihe 3:** Massanvaihdon jälkeen esikuormituspengeri (Mass replacement after mass replacement, pre-loading wall). It is labeled "Vaihe 3, Massanvaihdon jälkeen esikuormituspengeri KaM 0/90, painuma-aika 1kk".
 - Vaihe 4:** Esikuormituspenkereen poisto, Tukimuurin asentaminen (Removal of pre-loading wall, installation of retaining wall). It is labeled "Vaihe 4, Esikuormituspenkereen poisto, Tukimuurin asentaminen".
 - Vaihe 5:** Tukimuurin asentamisen jälkeen taustatäyttö KaM 0/63 (After installation of retaining wall, backfilling KaM 0/63). It is labeled "Vaihe 5, Tukimuurin asentamisen jälkeen taustatäyttö KaM 0/63".
 - Vaihe 6:** Päälyste AB16 50mm + KaM 0/16 50mm + Kantava kerros KaM 0/31 200 mm (Main layer AB16 50mm + KaM 0/16 50mm + Load-bearing layer KaM 0/31 200 mm). It is labeled "Vaihe 6, Päälyste AB16 50mm + KaM 0/16 50mm + Kantava kerros KaM 0/31 200 mm".
- Soil Layers:**
 - Esikuormituspenkereen reuna:** Pre-loading wall boundary.
 - Moreeni:** Moraine, shown as a dashed line at the bottom right.
- Elevation and Scale:**
 - Elevation markers: +96.7, +95.56, +94.67, +93.63, +89.03.
 - Scale bar: 0 20 40 60 80 100 pk/0.2 m.

KUVA 3. Rakennussuunnitelma, leikkaus B - B (Ahomies 2016b)

2.3 Läjitysalue ja esikuormituspenker

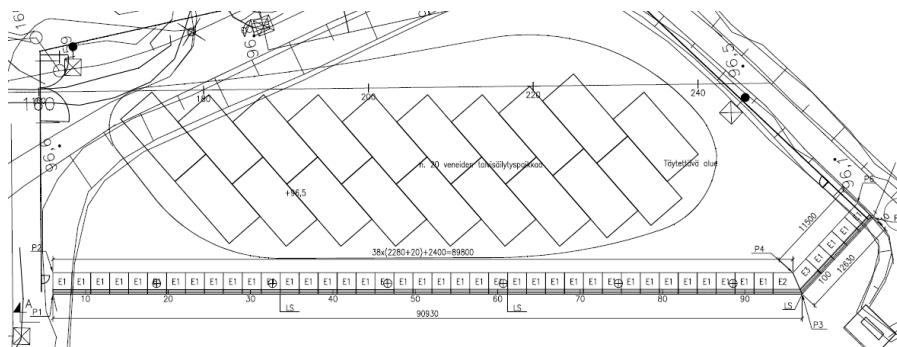
Suunnitelmissa on esitetty tilapäisen massanvaihtomassojen läjitysalueen rakentaminen, jossa järven pohjasta poistettava lieju voi kuivua ennen jatkokuljetusta. Tässä opinnäytetyössä ei perehdytä läjitysalueeseen.

Esikuormituspenkereellä nopeutetaan pohjan painumaa. Penkereen voi purkaa kaivamalla aikaisintaan yhden kuukauden kuluttua sen rakentamisesta, jonka jälkeen materiaali voidaan käyttää louheen kiilaamiseen (Ramboll 2016, 9).

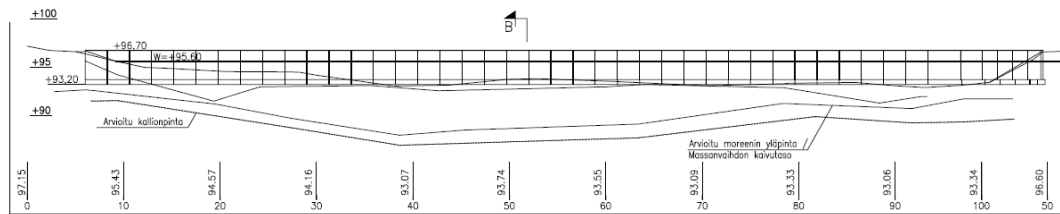
2.4 Elementti ja sen asentaminen

Tukimuuri koostuu 44 teräsbetonisesta tukimurielementistä, joista kaksi on kulmapaloja. Elementit ovat 3500 mm korkeita, 2280 mm leveitä, ja jalan syvyys on 2600 mm (kuva 6). Painoa elementeillä on noin 12 tonnia ja kulmapaloilla noin 16 tonnia. Suunnitelmissa on esitetty elementtien valmistamisessa vaadittavat raudoitukset, suojabetonietäisyydet ja rasisusluokat. Tässä opinnäytetyössä ei perehdytä elementtien valmistukseen.

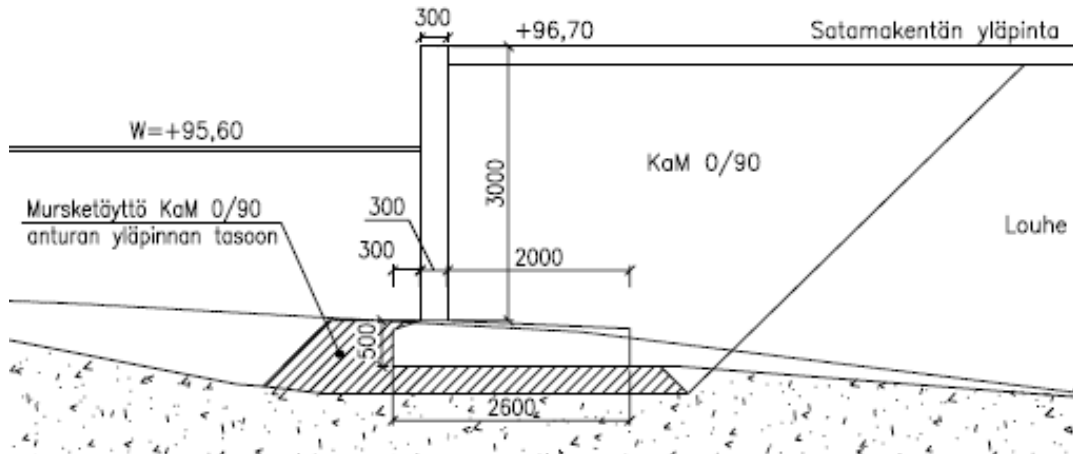
Sataman tukimuurin yleispiirustuksessa suunnittelija Paavoseppä (2016) ilmoittaa elementtitukimuurin nurkka- ja kulmapisteiden sijainnit (kuva 4), sekä elementtien pohjan korkeusaseman (kuva 5) +93,20. Tukimuurin yleispiirustuksessa on myös esitetty elementtien väliin jäävät liikuntasaumot, ja niiden näkyviin osiin tulevat umpisoluiset saumanauhat (Paavoseppä 2016). Suunnittelija ei ole laatinut elementtien asennussuunnitelmaa, eikä ole suunnitelmissa ottanut kantaa elementtipohjien teon työvaiheisiin, vaan sen tekeminen on ollut työmaan vastuulla. Tämän opinnäytetyön seuraavassa eli kolmannessa luvussa esitetään elementtien asentamisen työvaiheet.



KUVA 4. Tukimuurin yleispiirustus, tasopiirros (Paavoseppä 2016)



KUVA 5. Tukimuurin yleispiirustus, leikkaus A - A (Paavoseppä 2016)



KUVA 6. Tukimuurin yleispiirustus, leikkaus B - B (Paavoseppä 2016)

2.5 Taustatäytöt ja päällyste

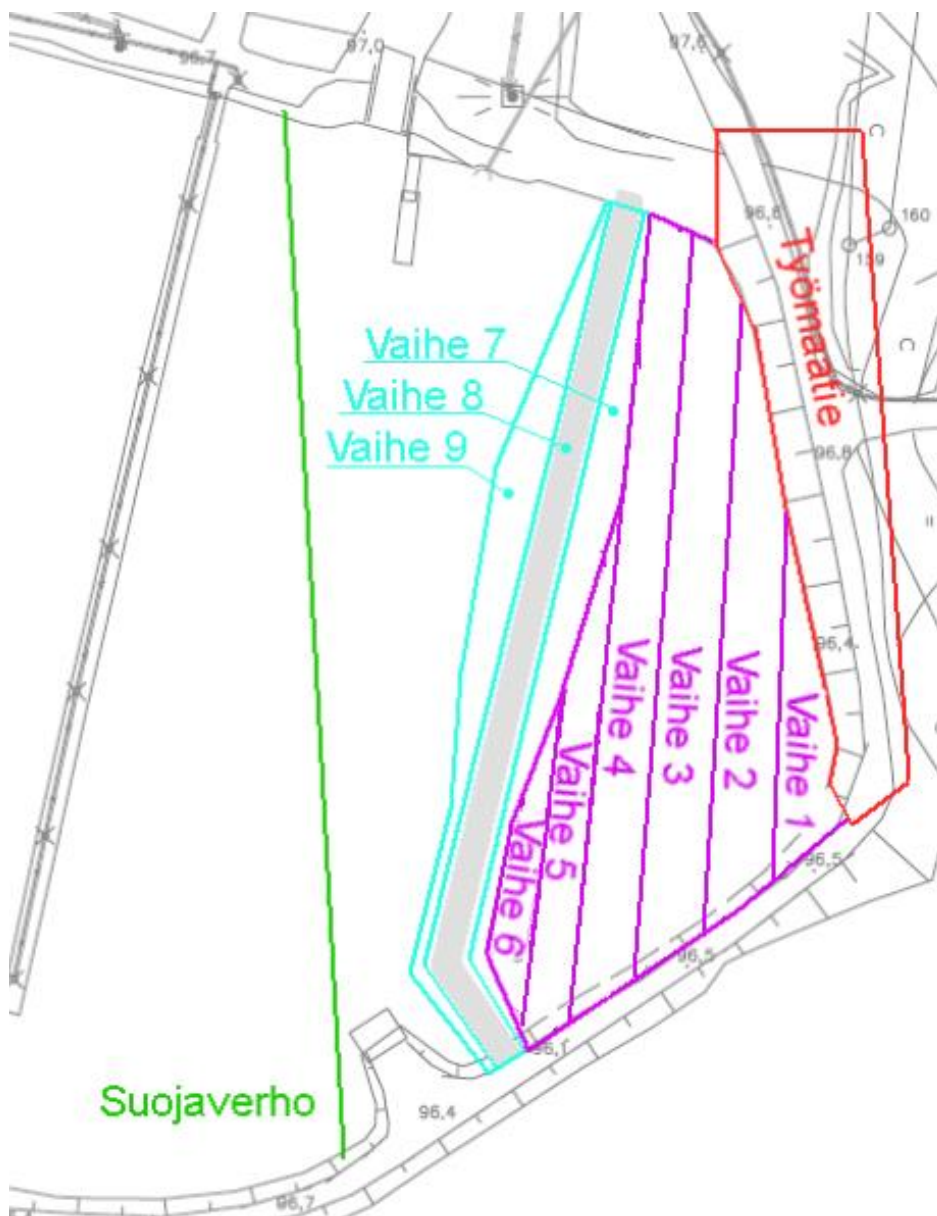
Työselostuksen mukaan elementtiasennuksen viimeisenä työvaiheena on tukimuurin tausta- ja etutäyttö (Ramboll 2016, 6). Rakennussuunnitelmien leikkauspiirustuksissa on esitetty taustatäytöt tehtäväksi murskeella KaM 0/63 korkotasoon +96,40 asti. Etutäytöt on esitetty tehtäväksi KaM 0/90 murskeella anturan yläreunan korkeuteen saakka. (Ahomies 2016b.)

Suunnittelija Ahomies (2016b) on leikkauksissa esittänyt satamakentän yläpintaan viimeiseksi pinnaksi päällysteen AB 16 50 mm, jonka alle kantavaan kerrokseen KaM 0/16 50 mm ja KaM 0/31 200 mm. Tässä opinnäytetyössä ei käsitellä päällysteiden tekoa.

3 TUKIMUURIN RAKENTAMINEN

3.1 Massan vaihto

Ennen varsinaisen massanvaihtotyön aloittamista tulee suojaverhon asentamisen ja läjitysalueen rakentamisen lisäksi, tehdä työmaatie rantaan, jotta maansiirtokalustolla päästään kulkemaan. Työmaatie tulee olemaan osa veneiden talvisäilytyspaikkaa ja sinne kulkevaa ajorataa, joten työmaatie tulee leikata tyypipoikkileikkauksen mukaisesti, levittää pohjalle suodatinkangas N3, ja päälle täyttää mursketta KaM 0/90. Alla (kuva 7) työmaatie on esitetty punaisella ja massanvaihdon vaiheet lilalla ja turkoosilla. (Salmi 2017.)



KUVA 7. Massanvaihdon vaiheet

Massanvaihdon ajoittuessa talviaikaan on järvestä poistettava jäät ennen maa-ainesten kaivamista. Jäätä poistetaan työn edetessä aina yhden vaiheen verran (kuva 7). Tässä opinnäytetyössä ei käsitellä jään poistamisen työvaiheita, mutta siihen tulee varautua ennen varsinaisen työn tekemistä.

3.1.1 Kalusto ja työryhmä

Massanvaihtotyössä tarvittava kalusto koostuu seuraavista:

- pitkäpuominen kaivinkone pehmeän maa-aineksen pois kaivamiseen
- kuorma-auto pehmeän maan kuljettamiseen läjitysalueelle
- perämies varmistamaan työn eteneminen suunnitelmien mukaisesti
- pyöräalustainen kaivinkone louheen levitykseen
- tela-alustainen kaivinkone louheen lastaukseen varastoalueella
- riittävästi ajoneuvoja louheen ajamiseen varastosta työmaalle (Salmi 2017).

Työssä hetkellisesti tarvitaan myös seuraavat:

- mittamies antamaan maastoon tarvittavat mittapisteeet
- kuljetusliike tuomaan kiilausmursketta
- työryhmä ajamaan läjitysalueelta kuivunut maa-aines pois (Salmi 2017).

3.1.2 Louheen käyttö rakentamisessa

Louhetäyttö tehdään sekarakeisesta louheesta, jotta täyttöön muodostuvat tyhjätilat jäävät mahdollisimman pieniksi. Käytettävän louheen tulee olla routimatonta ja rapautumatonta, eikä se saa sisältää savea, puu- tai raivausjätettä, jäätä, lunta, eikä muita rakennetta vaurioittavia aineksia. Alle 1,5 metrin pengerpaksuuksissa suurin sallittu lohkokoko on 600 mm. Louhepenkereen kiilaus materiaalina käytetään routimatonta mursketta 0/90, kun suurin sallittu lohkokoko on 600 mm. (InfraRYL 2006.)

Valmiin penkereen pinta ei saa olla suunnitelma-asiakirjojen mukaisen korkeuden yläpuolella, mutta pinta voi poiketa keskimäärin 50 mm suunnitellusta alaspäin, ja maksimi poikkeama alaspäin on 100 mm. (InfraRYL 2006.) Ennen massanvaihdon aloittamista on hyvä varmistaa louheen riittävä saatavuus ja sopivuus rakenteeseen, jotta louhe voidaan ajaa työmaalle suunnitellussa tahdissa.

3.1.3 Massanvaihdon tekeminen

Massanvaihto aloitetaan työmaatien reunasta järvelle edeten vaihe kerrallaan (kuva 7). Vaiheissa 1 - 6 pitkäpuomisella kaivinkoneilla poistetaan liejukerros saven päältä kuorma-auton lavalle, ja kuormataan läjitysalueelle kuivumaan. Liejukerroksen poisto etenee vaihe kerrallaan pohjoisesta etelään päin. Samassa tahdissa perässä tehdään louheesta massanvaihdon täyttöä pengertämällä, joka kiilataan murskeella KaM 0/90. Louhe kipataan rantaan penkereen päälle, josta se kaivinkoneella työnnetään massanvaihto kaivannon pohjalle. (Salmi 2017.)

Massanvaihdon vaiheissa 7 - 9 (kuva 7) pohja kaivetaan pitkäpuomisella kaivinkoneella kovaan moreenipohjaan saakka, muuten kaivu- ja täyttötyö tehdään vastaavasti kuin vaiheissa 1 - 6. Louhetäyttöä tehdessä tulee vaiheessa kahdeksan huomioida tulevan elementin pohjan korko tasoon +93,20, joten louhetäyttö tehdään tasoon +92,90. Tästä tasosta ylöspäin täyttö tehdään pelkästään murskeesta KaM 0/90. Viimeisessä vaiheessa numero yhdeksän täyttö tehdään louheella vain tulevan elementin alapuoliseen tasoon. (Salmi 2017.)

Massanvaihdon edetessä vaihe kerrallaan on yksittäiset kaivuuvaiheet hyvä rajata kelluvalla narulla mittamiehen antamien pisteiden välille. Näin louhetäyttöä tekevä kaivinkone tietää mihin asti pehmeä maa-aines on poistettu, ja täyttö etenee yhtä leveälle alueelle. Pimeissä ja jäisissä talviolosuhteissa narun tilalla voidaan käyttää myös putkilaseria, joka näkyy kauhassa. (Salmi 2017.)

3.2 Esikuormituspenkereen poisto

Esikuormituspenker kaivetaan pois tela-alustaisella kaivinkoneella aikaisintaan kuukauden painumisajan jälkeen (kuva 8). Kaivuu ulotetaan 300 mm alle tulevien elementtien pohjan tason eli tasoon +92,90 ja sivu suunnassa puoli metriä elementin pohjaa leveämmäksi. Kaivettu murske voidaan hyödyntää kentän kiilauksessa tai samaan urakkaan kuuluvien parkkialueiden jakavien kerrosten rakenteessa.



KUVA 8. Työmaa alueet pohjien teon ja elementtien asennuksen aikana

3.3 Elementtipohjien teko

Elementtipohjien teossa käytetään pitkäpuomista kaivinkonetta (kuva 9), jonka kauhaan on kiinnitetty neljämetrinen teräspalkki, josta on antennit pintaan. Antenneihin maala-
tuista viivoista tai teippauksista kuljettaja pystyy säätämään palkin veden alla haluttuun tasoon. Ennen elementtien pohjien tekoa tulee haraamalla varmistaa pohjien riittävä syvyys. Pohjien tulee olla kauttaaltaan 300 mm alle tulevan elementin pohjan tason.



KUVA 9. Pohjien teossa käytettävä kaivinkone, jonka kauhassa on teräspalkki

3.3.1 Veden pinnan korkeuden seuranta

Veden pinnan korkeutta mitataan katkaistulla rullamitalla (kuva 10), joka on kiinnitetty puurimaan. Mittamies asentaa korkeusmittarin läheiseen laituriin niin, että mittarin nol-lakohta on tulevassa elementtien pohjien tasossa +93,20. Näin mittarista voidaan lukea elementtipohjien syvyys nykyisestä veden pinnasta, ja siirtää saatu luku teippaamalla antenneihin.

Veden pinnan korkeus varmistetaan vähintään kahden tunnin välein elementtien pohjia tehtäessä, koska veden pinnan muutokset kopioituvat suoraan pohjan korkoihin. Näsijärven pinnan korkeus voi muuttua kymmeniä millimetrejä työvuoron aikana.

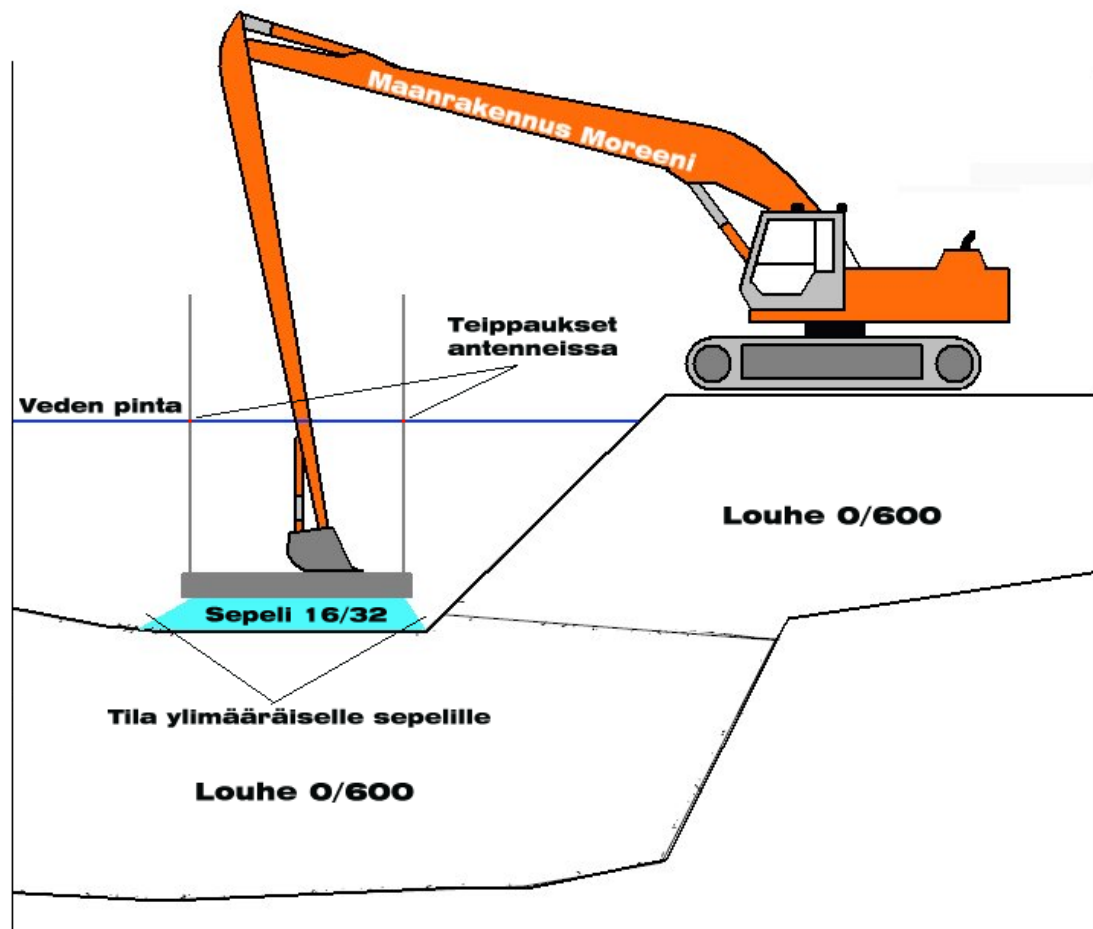


KUVA 10. Pohjien teossa käytettävä veden korkeusmittari

3.3.2 Sepelin lanaus veden alla

Pohjan harauksen jälkeen veden pintaan asennetaan kelluva naru mittamiehen antamien pisteiden mukaan niin, että se kulkee puoli metriä tulevien elementtien ulkopuolella. Naruilla varmistetaan pohjien tulevan oikeaan paikkaan, kun ne tehdään narujen väliin. Pohjat tulee tehdä molemmista päistä hieman pitkäksi, jotta ne varmasti riittävät asennustoleransseista huolimatta.

Ammattisukeltajan Arnkilin (2017) mukaan elementtien pohjat kannattaa tehdä sepelistä KaM 16/32, koska se levittyy mursketta KaM 0/90 helpommin veden alla. Sepeli nostellaan kaivinkoneella narujen väliin ja pinnasta tiputetaan pohjaan. Pitkäpuomisen kaivinkonekuljettajan Salmen (2017) mukaan sepeli kannattaa tiputtaa taaemman narun viereen, koska sepeli valuu kauhasta itseä kohti, ja näin ollen se valuu narujen keskelle. Tiputettavan sepelin määrä arvioidaan harauksesta saadun pohjan korkeusaseman perusteella. Sepeliä kuitenkin laitetaan aluksi hieman liian vähän, jottei pohja pääse liian kovaksi, eli liian korkeaksi. Sepeli lanataan tasaiseksi kuvan (kuva 11) mukaisella palkilla.



KUVA 11. Sepelin levitys pohjaan.

Lopullinen pohjien pinta saadaan oikeaan korkoon, kun penkereen yläpinta eli kaivinkoneen työskentelytaso oikaistaan tiehöylällä vaakatasoon, jonka jälkeen pitkäpuomisen kaivinkoneen palkilla lanataan pohja oikeaan tasoon. Työvaiheessa pitkäpuominen kaivinkone asettaa palkin veteen antenneiden mukaan oikeaan korkoon, jonka jälkeen ajaa oikaistun työskentelytason päästä päähän läpi. Palkin edelle pitää toisella kaivinkoneella tiputtaa koko ajan sen verran sepeliä, että sitä riittää lanattavaksi. Ylimääräinen sepeli valuu sivuille (kuva 11).

3.4 Elementtien asentaminen

Elementtien asennuksessa ja sukellustöissä tulee ottaa huomioon valtioneuvoston työturvallisuus määräykset, jotta työn tekeminen on turvallista. Tässä luvussa 3.4 on kerrottu turvallisuus asioiden lisäksi elementin asentamisen työvaiheet.

3.4.1 Elementtirakentamisen työturvallisuus

Päätoteuttajan on huolehdittava, että elementtien asennussuunnitelma on kirjallisena työmaalla. Asennussuunnitelman lähtötiedoiksi toteutuksesta vastaavan on hankittava suunnittelijoilta ja elementin toimittajalta riittävät lähtötiedot suunnitelman tekemistä varten. Elementtien asennussuunnitelmassa on oltava suunnittelijoiden hyväksymismerkinnät. Muut asennussuunnitelmassa annettavat tiedot on lueteltu valtioneuvoston asetuksen liitteessä kolme. (Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta 2009, 36§.)

Päätoteuttajan on varmistettava kaikille työntekijöille riittävä opastus ja ohjaus elementtirakentamiseen kohdistuvista vaara- ja haittatekijöistä. Lisäksi työntekijöiden perehdytyksessä tulee huomioida elementtiasentamisen työolosuhteet ja työvaiheet, työmenetelmät, työvälineiden turvallinen käyttö, sekä turvalliset työtavat. (Valtioneuvoston asetus elementtirakentamisen työturvallisuudesta 2003, 9§.)

Veden äärellä työskennellessä tulee kaikilla työntekijöillä olla puettuna pelastusliivit tai paukkuliivit muiden henkilökohtaisten suojavaatteiden lisäksi. Asennustyön aikana työmaalla tulee olla laadittuna ja päivitettyinä myös muut lakisääteiset turvallisuussuunnitelmat ja -asiakirjat, joita ei käsitellä tässä opinnäytetyössä.

3.4.2 Sukellustyön työturvallisuus

Sukellustyötä varten tehtävästä turvallisuussuunnitelmasta tulee selvittää työn ja työolosuhteiden erityisvaatimukset, työntekijöiden pätevyys- ja ammattitaitovaatimukset, ryhmän turvallinen kokoonpano, käytettävät sukelluslaitteet ja välineet, sekä ohjeet pelastautumiseen, ensiapuun ja toimintaan onnettomuustilanteissa. Vedessä sukelluslaitteilla rakennustöitä tehdessä tulee työntekijällä olla suoritettuna sukeltajan ammattitutkinto tai soveltuva kevytsukeltajan tutkinto. (Valtioneuvoston asetus rakennustyötä tekevän sukeltajan pätevyydestä ja turvallisuussuunnitelmasta 2011, 2 - 3§.)

Sukeltajalle tuotetaan ilmaa kompressorilla, joka johdetaan sukeltajalle pintailmaletkulla. Lisäksi sukeltajalla on selässään varailmasäiliöt. Sukeltajan apuna on pintamies, jolla on jatkuva puheyhteys sukeltajaan puhelinyhteydellä. Elementtien nostotöitä ei saa tehdä sukeltajan ollessa vedessä, ja lisäksi sukeltajalla tulee olla tikkailla turvallinen kulku veteen ja sieltä ylös. (Dyke Engineering 2017.)

3.4.3 Elementin paikalleen mittaus

Suunnittelija on antanut tukimuurin kulmapisteiden sijainnin paikat eli pääpisteet, jotka ovat tukimuurin yleispiirustuksessa (kuva 4) merkitty tunnuksella P 1 ... 6. Lisäksi suunnitelmissa on kerrottu tukimuurin yläreunan korkeus (kuva 6) +96,70. (Paavoseppä 2017.)

Tukimuurin korkeusasema tulee automaattisesti oikeaan korkoon, kun pohjat ovat tehty korkeuteen +93,20 luvussa 3.3.2 esitetyn mukaisesti. Ensimmäinen elementti nostetaan paikalleen mittamiehen osoittamaan paikkaan, jonka jälkeen mittamies tarkistaa elementin sijainnin takymetrillä mitaten. Elementti uudelleen asennetaan riittävän monta kertaa, jotta se saadaan suunnitelman mukaiseen kohtaan. Kaikki loput elementit asennetaan putkilaseria apuna käyttäen, niin että putkilaser on kiinni ensimmäisessä elementissä ja linja tähdätty aallonmurtajalla olevaan mittamiehen merkkiin. Mittamiehen on hyvä tarkistaa vielä kahden seuraavan elementin sijainti asennuksen jälkeen, jolla varmistetaan laserin osoittavan oikeaa linjaa.



KUVA 12. Elementin paikalleen mittaus.

3.4.4 Yksittäisen elementin asennuksen työvaiheet

Tukimuurielementit asennetaan yksi kerrallaan, ja jokaisen elementin kohdalla toistetaan samat työvaiheet samassa järjestyksessä. Asennus tehdään työvaihe kerrallaan (taulukko 1). Asennuksessa kannattaa käyttää vedenalaisiin töihin erikoistunutta yritystä, mikäli ei itsellä ole kokemusta vastaavien elementtien asentamisesta. Sopiva työryhmä elementtien asentamiseen on:

- ammattisukeltaja, joka toimii myös elementin asentajana,
- pintamies, joka toimii sukeltajan turvamiehenä ja asennuksessa taljan käyttäjänä,
- nosturin kuljettaja, joka ajaa ajoneuvonosturia,
- sekä pitkäpuomisen kaivinkoneen kuljettaja, joka toimii ryhmän apumiehenä, jos ei pohjia tarvitse korjata.

TAULUKKO 1. Elementin asennuksen työvaiheet.

1.	Sukeltaja tarkistaa pohjat tulevan elementin kohdalta.
2.	Elementti kiinnitetään nostorakseihin.
3.	Elementti nostetaan ilmaan ja elementin suoruus tarkistetaan vatupassilla.
4.	Tarvittaessa elementti lasketaan takaisin maahan, nostorakseja korjataan oikeaan asentoon, ja palataan työvaiheeseen kolme.
5.	Elementtiin kiinnitetään narut, joilla elementtiä voi vetää oikeaan suuntaan.
6.	Elementti nostetaan lähes paikalleen, mutta ei lasketa pohjaan saakka.
7.	Elementin nostolenkkiin kiinnitetään lompakkotaljan vaijeri. Talja itsessään on kiinni aikaisemmin asennetussa elementissä.
8.	Elementtien saumaan asennetaan 20 mm vahvuinen puupalikka, jonka läpi on lyöty naula, jottei palikka putoa alas.
9.	Elementti vedetään taljalla aikaisemmin asennettua elementtiä vasten.
10.	Rautakangella vääntämällä ja naruista vetämällä elementti asennetaan oikeaan linjaa, joka nähdään putkilaserista.
11.	Elementti lasketaan pohjaan.
12.	Elementin painuessa x mm sivuun, nostetaan elementti ylös pohjasta, ja palataan kohtaan 10. Uudelleen asennuksessa elementtiä otetaan x mm vastakkaiseen suuntaan ennakolta sivuun.
13.	Elementin sijainti tarkistetaan asennuksen jälkeen.
14.	Sukeltaja käy irrottamassa nostoraksit pohjasta.

Pohjan tarkistaminen ennen elementin asentamista on tärkeää, koska louhepenkasta on saattanut vieriä kiviä alas pohjien päälle, tai pohjat ovat voineet jäädä sivuista vajaaksi, jos sepeliä ei ole lanattu tarpeeksi. Näkyvyys vedessä on vain muutamia kymmeniä senttimetrejä, joten sukeltaminen on ainut tapa tarkistaa pohjien oikeellisuus.

Toinen tärkeä työvaihe on tarkistaa elementin suoruus ilmaan nostettaessa, jotta elementin pohja ottaa tasaisesti kiinni pohjaan laskettaessa. Mikäli elementti laskettaisiin vinossa, niin se painaisi sepelipohjan vinoksi, ja elementin asennus suoraan olisi mahdotonta.

Varsinaisessa asentamisessa elementti nostetaan ajoneuvonosturilla paikalleen, muttei lasketan pohjaan saakka (kuva 13), elementtien väliin asennetaan puupalikka, jolla saadaan suunnitelmien mukainen 20 mm saumarako elementtien väliin. Elementti vedetään

taljalla kiinni puupalikkaan, jonka jälkeen asentaja rautakangella vääntää elementin suoraan putkilaserin osoittamaan linjaan (kuva 14). Elementti lasketaan alas paikalleen, jolloin se saattaa pohjan mukaan vääntyä muutaman kymmenen millimetriä vinoon. Virhe korjataan nostamalla elementti uudelleen irti pohjasta, ja ottamalla rautakangella ennakkoa vastakkaiseen suuntaan, jonka jälkeen elementti lasketaan pohjaan. Asennus toistetaan kunnes elementti on saatu asennettua oikeaan linjaan. Asennuksessa tulee käyttää työlauttaa tai venettä, jolla asentajat pääsevät liikkumaan penkereeltä tukimuureille ja takaisin.



KUVA 13. Elementin nosto lähes paikalleen.



KUVA 14. Elementin asennusta paikalleen.

3.5 Teräslevyn asennus saumaan

Ammattisukeltaja Arnkilin (2017) mukaan paras tapa estää hienon maa-aineksen huuhoutuminen saumasta vesistöön on laittaa elementtisaumoihin rosteriset teräslevyt, joiden ympärillä on suodatinkangas. Kulmapalojen väliseen saumaan tuleva levy tulee pokata ennen asennusta.

Tukimuurin taustalle saumakohtiin asennetaan 1,5 mm vahvat rosterilevyt (kuva 15), jotka ovat kooltaan 400 mm x 3 000 mm. Levyjen ympärille kiinnitetään suodatinkangas nippusiteillä, jonka jälkeen levy kiinnitetään työnaikaisesti elementtiin neljällä kiila-ankkurilla. Taustatäytöistä syntyvä maanpaine pitää levyt lopullisesti paikallaan saumaa vasten.



KUVA 15. Teräslevyt asennettu ja taustatäytön tekoa.

3.6 Tausta- ja etutäytöt

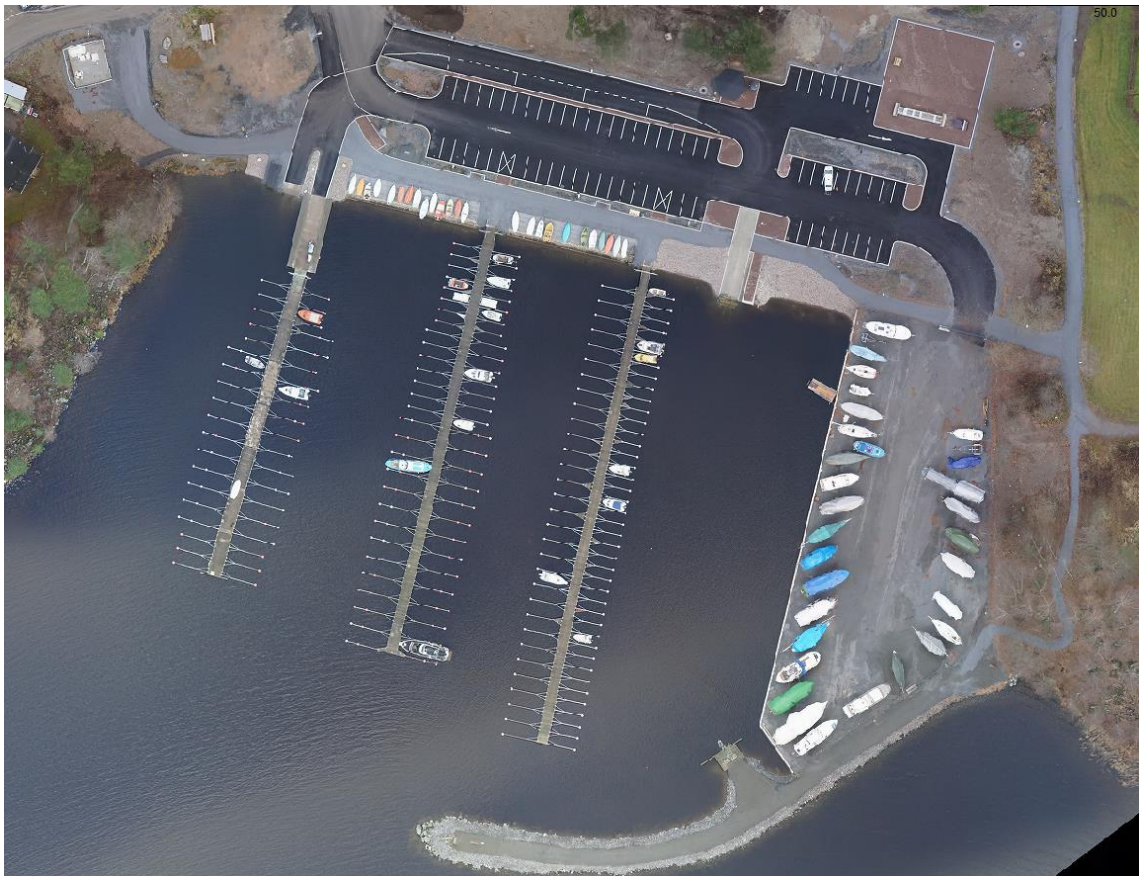
Tukimuurin rakentamisen viimeisenä työvaiheena on tehdä tausta- ja etutäytöt (kuva 15). Taustatäyttö tehdään murskeella KaM 0/63, joka nostellaan kaivinkoneella elementin jalan päälle aloittaen teräslevyjen kohdalta, jotta ne tukeutuvat elementtiä vasten. Taustatäyttö etenee rannasta aallomurtajalle kohti aina satamakentän yläpintaan saakka +96,40.

Etutäyttö tehdään murskeesta KaM 0/90 anturan yläpintaan saakka. Etutäytön onnistuminen varmistetaan sukeltamalla tukimuurilinjan etureuna läpi ja kuvaamalla pohjan korkeudet videolle.

4 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli dokumentoida massanvaihdon ja tukimuurielementtien asennuksen työvaiheet, sekä kertoa tekemisen kannalta kriittisistä työvaiheista, jotta tulevilla vedenalaisissa hankkeissa voitaisiin ottaa mallia tästä Halkoniemessä toteutetusta tukimuurin rakentamisesta. Alussa asetetut tavoitteet saavutettiin hyvin, kun luvuissa kaksi ja kolme on dokumentoitu tukimuurin tekeminen ja tässä viimeisessä luvussa neljä pohditaan vielä vaihtoehtoisia tapoja rakentaa vedenalaista tukimuuria, sekä tekemisen kannalta kriittisiä työvaiheita.

Halkoniemen sataman koko urakka valmistui vihertöitä lukuun ottamatta syksyllä 2017. Veneiden tavisäilytys alueesta tukimuureineen tuli laadukkaan näköinen kokonaisuus (kuva 16).



KUVA 16. Ilmakuva valmiista kohteesta (Tampereen Infra 2017).

4.1 Vedenalainen rakentaminen

Vedenalaisissa töissä korostuu aikaisemmissa työvaiheissa tehtyt oikaisut ja virheet, joten kaikki työvaiheet tulee huolella suunnitella ennen töiden aloitusta (Arnkil). Lisäksi on hyvä tarkkailla työn laatua ja varmistua työvaiheiden oikeellisuudesta koko rakentamisen ajan. Tämä koskee kaikkea rakentamista, mutta veden alaisissa töissä ongelmat korostuvat, ja asioiden kahteen kertaan tekeminen on vaikeampaa ja kalliimpaa.

Veden ääreen rakennettaessa veden pintaa on helppo hyödyntää tasona, josta otetaan mittoja ylös ja alaspäin. Veden pintaa hyödynnettäessä on hyvä muistaa, että isonkin vesistön pinnan korkeus voi vaihdella kymmeniä millimetrejä työpäivän aikana, joten korkeutta tulee tarkkailla säännöllisesti. Tarkemmin veden pinnan korkeuden tarkkailusta on kerrottu luvussa 3.3.1.

Massanvaihdossa voitaisiin hyödyntää veden pinnan tason ja mittamiehen pisteiden sijaan myös koneohjausjärjestelmää. Järjestelmiä valmistavan Novatronin (2017) internet-sivujen mukaan Xsite® EASY on veden alla toimiva 2D-mittausjärjestelmä kaivuutöihin, joka säästää aikaa ja rahaa, kun kauhan korko on kuljettajan tiedossa senttimetrin tarkkuudella. Koneohjausjärjestelmä ja sen käyttö vesirakentamisessa on aiheena niin laaja, että siitä voisi kirjoittaa kokonaan oman opinnäytetyön.

Veden äärellä ja sen alla tehtävissä töissä tulee aina muistaa huomioida turvalliset työtavat. Sukellustyön työturvallisuutta käsiteltiin luvussa 3.4.2. Pintamiehillä tulee olla päällään pelastus- tai paukkuliivit, ja talviaikana on hyvä käyttää naskaleita ja pintapelastuspukua tai vastaavaa asua. Veden äärellä on otettava huomioon myös muuttuvat sääolosuhteet. Ukkosen ilmalla vesistön ääressä on vaarallista olla veden sähkönjohtavuuden vuoksi, sekä myrsky voi nostaa oletettua suuremman aallokon. Poikkeuksellisissa oloissa työ on helppo lopettaa hetkeksi, mutta keskeneräiset rakenteet eivät välttämättä kestä olosuhteita, joten työtä suunnitellessa on hyvä muistaa tehdä pienempi määrä kerralla valmiiksi, jotta mahdolliset vahingot jäävät pieniksi.

Veden alaiset työt ovat rakentamisessa kohtalaisen harvinaisia, ja muutamat yritykset ovat erikoistuneet niiden tekemiseen. Jo töiden suunnitteluvaiheessa kannattaa olla yhteydessä ammattilaisiin, jotta kerralla päästään hyvään lopputulokseen.

4.2 Vaihtoehtoiset tavat rakentaa osittain vedenalainen tukimuuri

Yhtenä vaihtoehtona olisi ollut rakentaa tukimuuri kuivana. Se olisi vaatinut koko tukimuurialueen pontittamisen laatikkoon, eli teräsponttiseinä olisi kiertänyt koko alueen ympäri. Pontituksen jälkeen pohja olisi kaivettu ylisyväksi, ja veden alle laatikkoon olisi valettu 500 mm paksu betonilaatta, jonka kovetuttua laatikko olisi pumpattu tyhjäksi. (Arnkil 2017.) Ennen pumppaamista on varmistettava seinän stabiliteetti riittävällä tuennalla, jottei veden paine kaada seinää. Lisäksi massanvaihdossa tulisi huomioida riittävän pieni louhe, jotta siihen pystytään lyömään pontit, sekä pohja kaivamaan pontituksen jälkeen riittävän syväksi. Useampaan kertaan käytettyjen ponttien saumat eivät enää ole vesitiiviitä, mutta mäntysuovan palasaippuan painaminen saumoihin tiivistää ne. En pidä tätä tekotapaa järkevänä ja kustannustehokkaana vaihtoehtona tämän tyyppisessä tukimuurissa, mutta pienemmissä veden alaisissa töissä se on toimiva.

Toisena vaihtoehtona olisi ollut tehdä muuri matalammista elementeistä ja valaa paikallavaluna reunapalkki elementtien päälle. Eli tukimuurielementit olisivat olleet metrin matalampia, niin ne olisivat ylettyneet pinnan yläpuolelle, mutta olisivat olleet kevyempiä, helpommin käsiteltäviä ja helpommin työmaalle saatavia. Suuria elementtejä ei kaikki elementtitehtaat pysty valmistamaan, joten kilpailuttaminen vaikeutuu ja niitä mahtuu vain kaksi kappaletta rekan lavalle, niin rahdin kustannukset kasvavat. Paikalla valettu reunapalkki olisi lukinnut elementit toisiinsa, joten muuri olisi päässyt elämään vain suunnitelluista liikuntasaumoista. Lisäksi reunapalkkiin olisi helpompi kiinnittää pollarivalaisimia, pelastuspylväitä ja muita satamatarvikkeita. Tämä tekotapa säästäisi kustannuksia elementtien hankinnassa ja asennuksessa, mutta reunapalkin valu pitkittäisi aikataulua ja toisi lisää kustannuksia ja työvaiheita työmaalle. Reunapalkin valun jättäminen seuraavalle vuodelle varmistaisi paremman lopputuloksen, kun elementit painuisivat lopulliseen paikkaansa talven aikana, mutta aikataulun ja veden korkeusaseman vaihtelun vuoksi tämä vaihtoehto ei useinkaan ole mahdollinen.

Edellä mainittu reunapalkki voidaan toteuttaa myös elementtinä, sekä näiden vaihtoehtojen lisäksi varmasti löytyy muistakin vaihtoehtoisia tekotapoja. Näistä vaihtoehtoista rakennustavoista voisi kirjoittaa kokonaan oman opinnäytetyön.

4.3 Kriittiset työvaiheet, jotka voivat johtaa ongelmiin

Massanvaihtoa tehtäessä sopivan kokoisen louheen puuttuminen voi johtaa ongelmiin. Louheen odottaminen johtaa aikataulun venymiseen ja kustannusten kasvuun, koska pehmeään maa-aineksen poiskaivaminenkin joudutaan pysäyttämään. Oikeanlaisen louheen puuttuminen voi johtaa valvonnan puutteessa myös maakivien tai ison louheen käyttöön, koska niitä on yleensä helpommin saatavilla. Laadukkaaseen lopputulokseen päästään varaamalla riittävästi luvun 3.1.3 ensimmäisessä kappaleessa kerrotun mukaista louhetta omalle varastokasalle ennen massan vaihdon aloittamista. Kustannustehokkainta olisi saada varastokasa suoraan mahdollisimman lähelle työmaata. Kasaa ei kuitenkaan kannata moneen kertaan siirtää lähemmäksi, jos se sattuu olemaan kauempana, vaan kerralla ajaa oikein mitoitetulla kuljetuskalustolla suoraan käyttöön.

Toinen kriittinen työvaihe on tehdä tukimuurilinjan alainen massanvaihto liian kovaksi louheella. Luvun 3.1.3 toisessa kappaleessa on kerrottu louhetäytön toleranssit, joiden mukaan täyttö voi olla 100 mm suunniteltua vajaa, mutta se ei saa olla yhteen kova. Jos elementtipohjia tehtäessä louhetäyttö tulisi vastaan, niin vaihtoehtoina olisi nostaa suunniteltua tukimuurilinjan korkoa tilaajan luvalla tai poistaa louhetta pohjasta. Vaikkei louhetäytön yksittäinen kivi olisi kuin vähän liian kova, niin sen poistaminen voi tehdä yli metrin montun pohjaan, jolloin menetetään esikuormituspenkereellä aikaan saatu pohjan tiiveys. Suurten kivien poistaminen useamman metrin syvyydestä ei myöskään ole yksinkertainen työvaihe, koska siihen tarvitaan järeää kaivinkonekalustoa tai kivet on rikottava veden alle.

Elementtipohjien teon ja elementin asentamisen työvaiheetkin tulee tehdä hyvin ja suunnitellusti, mutta niiden tekemisessä ei ole vastaavanlaisia riskejä, kun työn tekemiseen käytetään ammattilaisia.

LÄHTEET

Ahomies, M. 2016a. Halkoniemen satama, rakennussuunnitelma, massanvaihtokartta. Piirustus nro 1.5/16915/8. Tampere: Ramboll.

Ahomies, M. 2016b. Halkoniemen satama, rakennussuunnitelma, leikkaus A-A ... D-D. Piirustus nro 1.5/16915/9A ... D. Tampere: Ramboll.

Arnkil, H. 2017. Haastattelu kesäkuu 2017. Ammattisukeltaja. Tampere

Bing.com. ND. Ilmakuva ennen rakennus hankkeen alkua Halkoniemen satama-alueesta. Luettu 20.11.2017. <https://www.bing.com/maps>.

Dyke Engineering. 2017. Riskianalyysi asiakirja. Tampere.

InfraRYL 2006. 18120 Louhepenkereet. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Novatron. 2017. Xsite® EASY 2D-mittausjärjestelmä kaivuutöihin. Luettu 29.11.2017. <http://novatron.fi/koneohjaus/kaivinkoneisiin/xsite-easy/>.

Paavoseppä, L. 2016. Halkoniemen satama, tukimuuri yleispiirustus. Piirustus nro 1.5/16915/14. Tampere: Ramboll.

Ramboll. 2016. Katu- ja satamatöiden työselostus Halkoniemen satama. Tampere: Ramboll.

Salmi, T. Maanrakennusyrittäjä. 2017. Haastattelu syksy 2017. Haastattelija Karimäki, M. Tampere

Tampereen Infra. 2017. Ilmakuva rakentamisen päätyttyä Halkoniemen satama-alueesta. Paikkatieto yksikkö. [sisäiseen käyttöön]. Päivitetty syksy 2017. Luettu 20.11.2017.

Valtioneuvoston asetus elementtirakentamisen työturvallisuudesta 578/2003.

Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta 205/2009.

Valtioneuvoston asetus rakennustyötä tekevän sukeltajan pätevyydestä ja turvallisuussuunnitelmasta 1088/2011.